

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Weilbeer, Holger

Zur dreidimensionalen Simulation von Strömungs- und Transportprozessen in Ästuaren

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102641>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weilbeer, Holger (2003): Zur dreidimensionalen Simulation von Strömungs- und Transportprozessen in Ästuaren. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 86. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 109-111.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Zur dreidimensionalen Simulation von Strömungs- und Transportprozessen in Ästuaren

DR.-ING. HOLGER WEILBEER, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, DIENSTSTELLE HAMBURG, REFERAT ÄSTUARSYSTEME II

Die Strömungs- und Transportprozesse im Mündungsgebiet der Flüsse – den Ästuaren – werden seit mittlerweile mehr als zwei Jahrzehnten auch mit Hilfe dreidimensionaler HN-Modelle untersucht und sind somit stets eine starke Triebkraft für deren Weiterentwicklung gewesen. Die besondere Herausforderung liegt dabei in der Simulation dreidimensionaler Effekte, die sich aus der Änderung der Fluidichte infolge horizontaler und vertikaler Gradienten der Salz- und Schwebstoffkonzentrationen und gegebenenfalls aus Temperaturgradienten ergeben, also in der Simulation von Dichteströmungen und deren induzierender Prozesse. In der nachfolgenden Grafik (Bild 1) sind die wesentlichen Einflussgrößen und Prozesse des Gesamtsystems Ästuar dargestellt.

len überlagert. Mit der Strömung werden verschiedene Substanzen in gelöster oder in partikulärer Form transportiert. Besonders charakteristisch für ein Ästuar ist dabei das Aufeinandertreffen und das Vermischen von salzhaltigem Meerwasser mit dem Süßwasser des Oberwasserzuflusses. In Abhängigkeit des Ästuartyps sind die daraus resultierenden Dichteeffekte unterschiedlich stark ausgeprägt.

An den mikrotidalen Ostseeästuaren wie der Trave oder der Warnow ist in der Regel ein starker Salinitätsgradient in der Vertikalen zu beobachten (Bild 2), d. h. der Wasserkörper weist eine stabile Dichteschichtung auf, die durch das Zusammenwirken von Oberwasserzufluss, lokalem Windfeld und Salinität am seeseitigen Rand bestimmt wird.

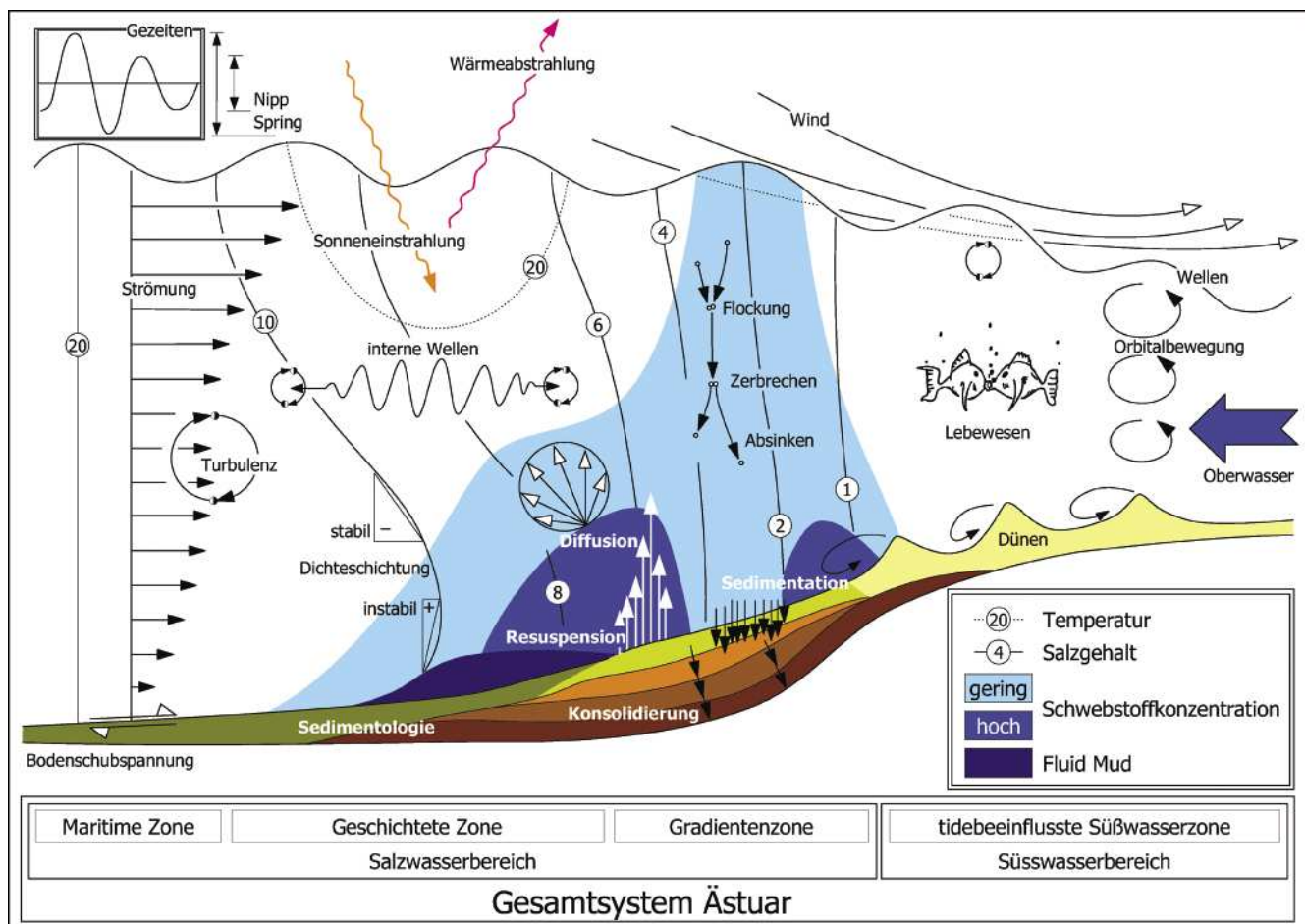


Bild1: Einflussgrößen und Teilprozesse im Gesamtsystem Ästuar

Strömungen und Wasserstände sind primär durch den Gezeiteinfluss am seeseitigen Rand dominiert, sie werden aber auch durch den Oberwasserzufluss und den Wind beeinflusst und sind zudem durch Wel-

An den stärker gezeitendominierten Nordseeästuaren zeigt sich ein gänzlich anderes Bild. Bei voll ausgebildeten Ebb- oder Flutströmungen ist der Wasserkörper durch die intensivere Turbulenz gut durchmischt, d. h.

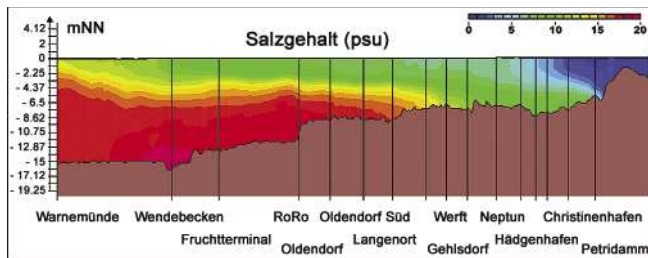


Bild 2: Salzgehaltsverteilung im Längsschnitt durch die Warnow (TRIM-3D)

dass in diesen Phasen kaum Salinitätsgradienten in der Vertikalen zu beobachten sind. Nahe der Kenterpunkte können sich jedoch vor allem auf Grund von Massenträgheitseffekten sehr komplizierte dreidimensionale Strömungen ergeben, da sich zum einen in der Vertikalen kurzzeitig labile Schichtungen einstellen können (die Strömungsgeschwindigkeit ist nahe der Oberfläche größer als an der Sohle), und sich zum anderen laterale Dichtegradien ausbilden (die Strömungsgeschwindigkeit ist in der Fahrrinne größer als in Ufernähe). Das Geschwindigkeitsfeld erhält dadurch dichteinduzierte Sekundärkomponenten. In Bild 3 und Bild 4 lassen sich die Vertikalgradienten der Salzgehaltsverteilung in der Elbe gut erkennen.

Ein weiterer Transportvorgang von großer Bedeutung ist der Sedimenttransport in all seinen Erscheinungsformen und Auswirkungen auf die Morphologie des Ästuars. Hier dominiert der Schwebstofftransport das Geschehen, wobei im Übergangsbereich zwischen Süßwasser und Salzwasser ein Zone erhöhter Trübung etabliert ist. Anders als gelöste Substanzen besitzen suspendierte Sedimente eine eigene Dynamik, die besonders durch eine sedimentspezifische Sinkgeschwindigkeit geprägt ist.

Auf Grund dieser Sedimenteigenschaft kommt es zu einem durch den Tidezyklus bestimmten periodischen Deponieren und Resuspendieren von Sedimentmassen (siehe Bilder 3 und 4) und in Verbindung mit einer Asymmetrie der Tide möglicherweise zu einem Netto-transport stromauf des Ästuars. Gelangen suspendierte Feinsedimente in schwach durchströmte Bereiche wie z. B. Hafenbecken oder Flachwasserzonen können sie dort auch länger liegenbleiben, konsolidieren und dadurch morphologische Veränderungen bewirken. In stärker durchströmten Abschnitten und in Bereichen mit Seegangseinfluss kommen eher sandige Sedimente vor, die Sohlformen wie Riffel oder Dünen ausbilden können.

Bei der Simulation dieser Prozesse mit mathematischen Modellen werden Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre in gekoppelten Modulen oder separaten Modellen behandelt, die an ihren Grenzflächen Stoff- und/oder Impulsflüsse austauschen. Ein Atmosphärenmodell berechnet Wind- und Luftdruckfelder, die in den Hydrosphärenmodellen für Seegang und

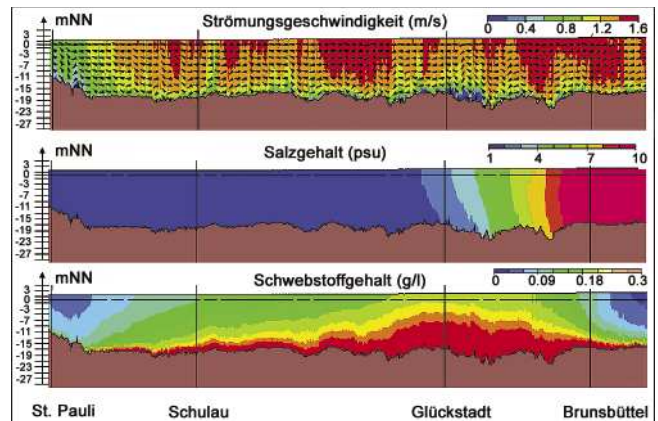


Bild 3: Strömungsgeschwindigkeiten, Salzgehalts- und Schwebstoffverteilung im Längsschnitt durch das Elbeästuar bei vollem Flutstrom (UnTrim + SediMorph)

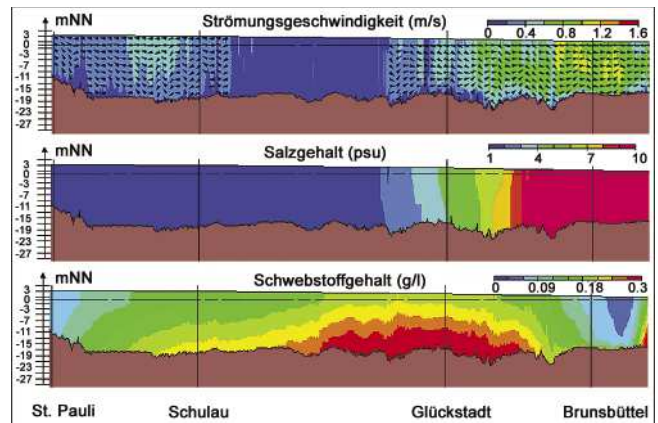


Bild 4: Strömungsgeschwindigkeiten, Salzgehalts- und Schwebstoffverteilung im Längsschnitt durch das Elbeästuar bei beginnendem Ebbstrom (UnTrim + SediMorph)

Strömung zusätzliche Kräfte bzw. Spannungen an der Oberfläche induzieren. An der Gewässersohle interagieren Hydrodynamik und Morphodynamik in enger Wechselwirkung. Die Beschreibung des Aufbaus und der Veränderung des Bodens, d. h. die Verwaltung des Sedimentinventars, die Modellierung von Erosion oder Konsolidierung, die Genese von Riffeln oder Dünen etc. ist wiederum Aufgabe eines selbständigen Lithosphärenmodells, das bei der BAW, Dienststelle Hamburg, durch SediMorph realisiert ist. Alle Strömungs- und Transportprozesse im Wasserkörper werden hingegen in Strömungsmodellen wie UnTrim, TRIM oder Telemac behandelt. Die hier beschriebenen Dichteefekte erfordern eine dreidimensionale Auflösung des Untersuchungsgebietes. Die Wechselwirkungen zwischen Strömungs- und Stofftransportprozessen sind in Bild 5 schematisch dargestellt.

Die primären Ergebnisse eines Strömungsmodells sind (dreidimensionale) Strömungsgeschwindigkeiten u und Wasserstände h , mit denen unter Verwendung der turbulenten Viskosität ν_t die Advektion und die Diffusion der zu transportierenden Größen wie Salz

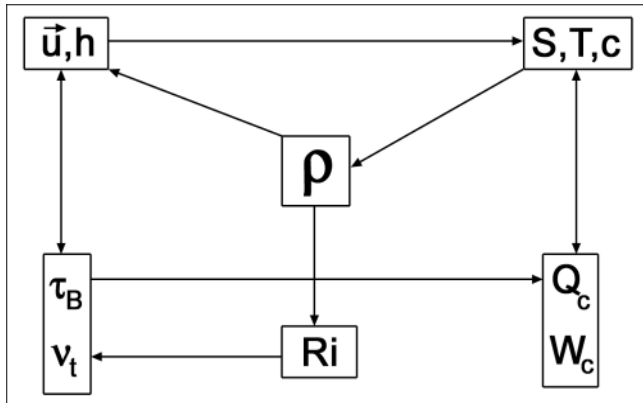


Bild 5: Wechselwirkungen zwischen Strömungs- und Stofftransportprozessen

S , Temperatur T und Schwebstoff c berechnet werden kann. Bei der Lösung der Schwebstofftransportgleichung muss aber wie oben erwähnt die Sinkgeschwindigkeit w_c als zusätzliche Vertikalkomponente berücksichtigt werden. Einleitungen und Entnahmen z. B. von Kühlwasser werden über Quell- und Senkterme modelliert, die beim Schwebstofftransport die Materialflüsse aus der bzw. in die Wassersäule bei Erosion und Deposition beschreiben. Den dominierenden Einfluss hat dabei die Sohlschubspannung τ_B , die nicht nur wichtig für die Dissipation der Strömungsenergie und den Grad der Turbulenz ist, sondern auch die Stärke des Erosionsstromes Q_c bestimmt.

Der Einfluss der variablen Salzkonzentrationen und Wassertemperaturen auf die Fluidichte kann über eine empirische Zustandsgleichung für Meerwasser berechnet werden (UNESCO, EOS80). Dieser Dichte wird dann noch bei Bedarf die Massenkonzentration des Schwebstoffes überlagert.

Die veränderliche Gesamtdichte wirkt über zwei verschiedene Wege auf die Hydrodynamik ein. Ein direkter Einfluss erfolgt durch den Druckterm in den Impulsgleichungen, da dort die Dichte ρ als Variable enthalten ist. Dichteströmungen sind somit automatisch Bestandteil der Ergebnisse dreidimensionaler Modelle. Ein zweiter Weg ist indirekt und basiert auf der Annahme, dass eine stabile Schichtung einen dämpfenden Einfluss auf die Turbulenz hat (d. h. v_t müsste kleiner werden), eine instabile Dichteschichtung hingegen den turbulenten Austausch in der Vertikalen anfährt. In den HN-Modellen wird dieser Annahme entweder durch Dämpfungsfunktionen für algebraische Turbulenzmodelle oder durch einen zusätzlichen Dämpfungsterm in Zwei-Gleichungs-Turbulenzmodellen Rechnung getragen. Eine Maßzahl für die Stabilität einer Schichtung ist die Richardson-Zahl, eine Funktion des Dichte- und des Geschwindigkeitsgradienten, die zu leider wenig allgemeingültigen Parametrisierungen der oben be-

schriebenen Effekte in den empirischen Dämpfungsfunktionen verwendet wird.

Die soeben beschriebenen Abhängigkeiten und Modellansätze bzw. Parametrisierungen belegen beispielhaft die Komplexität und Sensitivität eines Gesamtsystems Ästuar. Wenngleich die Ergebnisse, die sich mit einem solchen Modell erzielen lassen, bereits sehr naturähnlich sind und belastbare Aussagen liefern, so zeigt dennoch ein genauerer Blick auf Teilprozesse sofort die Notwendigkeit auf, kontinuierlich weiter zu forschen, um im Zusammenwirken mit Naturuntersuchungen bekannte Ansätze zu überprüfen und eventuell zu verbessern oder auch neue Ansätze zu entwickeln, um so die Modellbildung zur Beschreibung der komplizierten Wechselwirkungen stetig zu verbessern. Als ein Beispiel sei der Einfluss der Sedimentkonzentration auf die Hydrodynamik genannt, die nur bei geringen Massenkonzentrationen wie oben beschrieben berücksichtigt werden darf. Bei hohen Konzentrationen, wie sie gelegentlich sohnah oder bei der Bildung von *Fluid Mud* auftreten dürften, wird die Gültigkeit der Modellannahmen verletzt, und man wird gezwungen, diese Phänomene z. B. als Mehrphasenproblem zu beschreiben. Als ein im Übergangsbereich zwischen Hydrosphäre und Lithosphäre lokalisiertes Phänomen wird es wohl eine Aufgabe sein, die in SediMorph gelöst werden wird.

Zuletzt sei noch erwähnt, dass die bisherigen Erfahrungen in der hydro- und morphodynamischen Simulation ästuariner Prozesse eine starke Abhängigkeit der Qualität der Sedimenttransportergebnisse von der Güte und dem Umfang der Sedimenteingangsdaten zeigen. Die Anforderungen, die an diese Daten gestellt werden, dürften recht bald die Anforderungen z. B. an topografische Daten übersteigen.